

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

**DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GRANO E INDICADORES DE
RENDIMIENTO EN UN CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO DIFERENTES
PROGRAMACIONES DE RIEGO COMPLEMENTARIO**

Alumno: Emanuel Alzugaray

DNI: 28821138

Directora: Ing. Agr. M. Sc. ANA ROSA RIVETTI

Río Cuarto – Córdoba – Argentina

Mayo de 2009

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título Del Trabajo Final: DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE GRANO E
INDICADORES DE RENDIMIENTO EN UN CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mayz L.*) BAJO
DIFERENTES PROGRAMACIONES DE RIEGO COMPLEMENTARIO**

Autor: ALZUGARAY EMANUEL

Director: Ing. Agr. M. Sc. ANA ROSA RIVETTI

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que forman y formaron parte de mi vida y me han ayudado siempre. A toda mi familia, en especial a mis padres, que han hecho lo posible para que hoy concluya esta etapa de mi vida exitosamente.

AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que colaboraron para que el sueño de terminar esta carrera, se realizara con éxito.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Certificado de Aprobación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Índice	IV
Resumen	VI
Abstract	VII
Introducción	1
Objetivos	4
Materiales y Métodos	4
Resultados y Discusión	10
Conclusiones	20
Bibliografía	21
Anexo	24

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitación media normal (serie 1977-2006) y precipitación durante la campaña 2007-2008 (mm)	5
Figura 2. Calicata donde se observan los diferentes horizontes en el perfil del suelo	5
Figura 3. Muestreo de suelo	6
Figura 4. Diseño de campo	7
Figura 5: Rendimiento en Kg.ha ⁻¹ para los diferentes tratamientos de riego	11
Figura 6: Rendimiento en grano para los distintos tratamientos de riego y fertilización .	12
Figura 7: Número de granos.m ⁻² para los tratamientos de riego y fertilización	13
Figura 8: Número de granos por hilera para los tratamientos de riego y fertilización	14
Figura 9: Número de granos por espiga para los tratamientos de riego y fertilización ...	15
Figura 10: Peso de los 1000 de granos para los tratamientos de riego y fertilización	16
Figura 11: Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitaciones (Pp _{tt}) y riegos realizados para los distintos tratamientos .	18

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Datos de calicata	6
Tabla 2. Parámetros físicos del suelo	6
Tabla 3. Resultados de análisis químico	7
Tabla 4. Rendimiento en grano y sus componentes	10
Tabla 5. Riegos aplicados (R), Precipitación efectiva y Evapotranspiración del cultivo (ETc)	17
Tabla 6. Eficiencia del uso del agua	19

ANEXO

	Página
Tabla 1. Análisis de varianza para rendimiento de grano	24
Tabla 2. Test de Tukey. Tratamientos de riego y rendimiento de grano	24
Tabla 3. Test de Tukey. Tratamientos de Fertilización y rendimiento de grano	24
Tabla 4. Análisis de varianza para la variable nº granos.m ⁻²	25
Tabla 5. Análisis de varianza para la variable nº granos/hilera	25
Tabla 6. Análisis de varianza para la variable nº granos/espiga	25
Tabla 7. Análisis de varianza para la variable peso de los 1000 granos	25
Tabla 8. Balance de agua semanal T0	26
Tabla 9. Balance de agua semanal T1	26
Tabla 10. Balance de agua semanal T2	27
Tabla 11. Balance de agua semanal T3	27
Tabla 12. Balance de agua semanal T4	28

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de diferentes programaciones de riego sobre el rendimiento en grano de maíz. La experiencia se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, empleando un maíz híbrido Nidera AX 884 CL sembrado el 7 de diciembre del 2007 con una densidad de siembra de 95.000 semillas.ha⁻¹. Se utilizó un diseño de franjas en bloques con dos factores: Factor 1: Riego con 5 niveles y Factor 2: Fertilización con 2 niveles. Se realizaron 5 repeticiones (Bloques). Los tratamientos de riego fueron los siguientes: **T0**: Testigo; partiendo de capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, efectuándose la reposición cuando se consumieron 25 mm. **T1**: se regó aplicando la lámina necesaria para llevar la humedad del suelo a capacidad de campo cuando se consumían 25 mm, siempre y cuando en el pronóstico extendido de 72 horas brindado por el Servicio Meteorológico Nacional no indicaba lluvias. **T2**: se regó durante todo el ciclo con una lámina de 25 mm, cada vez que se alcanzó el umbral de riego correspondiente. Salvo que el pronóstico anunciara precipitaciones. **T3**: El riego se realizó considerando tres fases, Fase 1: desde siembra hasta 12 hojas, Fase 2: desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso y Fase 3: desde grano lechoso hasta madurez fisiológica. En la fase 1 y 3 se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en la etapa 2, sin estrés ($K_s = 1$). Al alcanzar el umbral establecido para cada fase se aplicó una lámina de 25 mm. **T4**: El riego se realizó considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en todo el ciclo. Cada vez que se alcanzó el umbral establecido se aplicó una lámina de riego de 25 mm. Los tratamientos de fertilización fueron: **FI**: Fertilización nitrogenada completa en el estadio fenológico de 6 hojas (V6) y **FII**: Fertilización nitrogenada repartida en siembra y estadio fenológico de 6 hojas (V6). Los momentos de riego se establecieron mediante un balance hídrico, utilizándose un equipo de riego presurizado de avance lateral. Los rendimientos de grano promedios obtenidos fueron de T0: 12372 kg.ha⁻¹, T1: 11411 kg.ha⁻¹, T2: 10829 kg.ha⁻¹, T3: 11408 kg.ha⁻¹ y T4: 11879 kg.ha⁻¹. Las precipitaciones ocurridas en el ciclo del cultivo fueron de 540 mm y la cantidad de agua aplicada fue de 125 mm (T0) 100 mm (T1), 50 mm (T2 y T3) y 25 mm (T4). La eficiencia del uso de agua para rendimiento en grano no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos y fue de 2,49 kg.m⁻³ en promedio.

Palabras claves: maíz, programaciones de riego, rendimiento en grano, eficiencia del uso del agua.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of different irrigation programs on the maize grain yield. This project was carried out at the experimental field of the National University of Río Cuarto, using Nidera AX 884 CL hybrid maize, which was sowed on December 7th of 2007, with a sowing density of 95.000 seeds.ha⁻¹. A stripped blocked design was used with two factors: Factor 1: Irrigation with 5 levels and Factor 2: Fertilization with 2 levels. 5 repetitions were conducted (Blocks). The irrigation treatments were: **T0**: Control was irrigated during the whole cycle every 25 mm of available soil water was consumed. **T1**: was irrigated with 25 mm so that the soil water reached the maximum available soil water. This was carried out as long as the Servicio Meteorológico Nacional did not forecast rain for 72 hours. **T2**: was irrigated with 25 mm, during the whole cycle, every time the corresponding threshold was reached, unless rain was forecasted. **T3**: Irrigations were carried out taking into account 3 stages, Stage 1: since sowing until 12 leaves, Stage 2: since 12 leaves until milking grain, and Stage 3: since milking grain until physiological maturity. An irrigating threshold was used in stages 1 and 3, with a stress coefficient K_s of 0.60, while in stage 2, there was not stress ($K_s=1$) 25 mm were irrigated once the threshold established for each stage was reached. **T4**: Irrigation was carried out considering a stress coefficient K_s of 0.60 during the whole cycle. Every time the established threshold was reached, 25 mm were irrigated. The fertilizing treatments were: **FI**: Complete Nitrogenous Fertilization during the stage of 6 leaves (V6) and **FII**: Distributed Nitrogenous Fertilization during sowing and the stage of 6 leaves (V6). The irrigation frequency was determined by a water balance, using a pressurized irrigation equipment of lateral advance. The average grain yields were: T0: 12372 kg.ha⁻¹, T1: 11411 kg.ha⁻¹, T2: 10829 kg.ha⁻¹, T3: 11408 kg ha⁻¹ and T4: 11879 kg ha⁻¹. Rainfalls during the whole cultivating cycle were of 540 mm and the amount of water irrigated was 125 mm (T0), 100 mm (T1), 50 mm (T2 and T3), and 25 mm (T4). The efficiency of water usage for grain yield had no significant differences among the treatments and was 2.49 kg.m⁻³ on average.

Key words: corn, irrigation programs, grain yields, water use efficiency.

INTRODUCCION

El maíz es conocido sólo como planta cultivada. Es originario del continente americano y se ha cultivado en el mismo desde hace unos 10.000 años, destacando su importancia como alimento en casi todas las comunidades indígenas americanas desde Canadá hasta la Patagonia.

Pertenece a la familia de las Poáceas y su nombre científico es *Zea mays* L..

Se lo utiliza para alimentación animal y para industria donde es procesado obteniendo distintos productos como aceite, sémolas, maicena, glucosa, dextrosa, maltosa, harinas, almidón y alcohol (etanol). El etanol es un alcohol producido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en el maíz y otros cultivos energéticos, utilizado para la producción de biocombustibles de alto poder energético no contaminante.

El maíz representa uno de los aportes más valiosos a la seguridad alimentaria mundial, ubicándose a nivel de importancia en el tercer puesto después del arroz y el trigo, que junto a estos son considerados como las tres gramíneas más cultivadas en el mundo (Andrade *et al.*, 1996).

A nivel internacional, la producción total de maíz para la campaña 2007/08 fue de aproximadamente 766 millones de toneladas, 70 millones más que la campaña anterior, donde la mayor producción se registró en EEUU con aproximadamente 338 millones de toneladas (SAGPyA 2007).

Argentina es el quinto país productor y se ubica como segundo exportador a nivel mundial (SAGPyA 2007).

Es uno de los principales cultivos en nuestro país, centrándose como zona núcleo a la Pampa Húmeda.

El cultivo de maíz en la Argentina, en los últimos 30 años, cubrió una superficie promedio de 3,4 millones de hectáreas por campaña, con picos cercanos a los 5 millones a inicios de los setenta (SAGPyA 2007).

En la campaña 2004/05, con una superficie sembrada de 3,43 millones de hectáreas, la producción alcanzó 19,5 millones de toneladas, lo que se constituyó en cifra record para este cultivo (SAGPyA 2007).

En la campaña 2005/06 se sembró una superficie aproximada de 3,3 millones de hectáreas con una cosecha de aproximadamente 14,5 millones de toneladas (SAGPyA 2007).

En la campaña 2006/07 el maíz concretó un crecimiento del área sembrada de 12,2 % por encima de la anterior superficie. El área total maicera (grano+forraje) fue de 3,58 millones de hectáreas, con mayores incrementos registrados en La Pampa y norte de Buenos Aires (SAGPyA 2007).

En la campaña 2007/08 el maíz registró un aumento del área a sembrarse, 11,7 % por encima de la anterior campaña. De esta manera, el área total maicera (grano+forraje) se ubicó en

4 millones de hectáreas, con los mayores incrementos en Entre Ríos, Santa Fe y Buenos Aires y en menor medida en Córdoba y La Pampa. De acuerdo al área sembrada, al marco climático que acompañó la evolución del cultivo, y a los rendimientos que se obtuvieron en las distintas zonas, la producción total en dicha campaña llegó a 21,3 millones de toneladas (SAGPyA 2009).

Además de la importancia que tiene el cultivo de maíz en la República Argentina y en Córdoba, la zona de Río Cuarto ocupa un lugar preponderante en la provincia ya que el 40% de la superficie sembrada corresponde a esta zona.

La planta de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa. De una semilla que pesa alrededor de 300 mg se obtiene, en un lapso de 2,5 meses, una planta de más de 2 metros de altura y de alrededor de 70 dm² de área foliar. A los 4,5 meses la planta puede alcanzar, en condiciones de cultivo, un peso seco 1.000 veces superior al de la semilla que le dio origen. Alrededor de la mitad de ese peso corresponde a órganos reproductivos, lo que lo transforma en uno de los cultivos de mayor rendimiento en grano por unidad de superficie (Lorenzatti, 2001). El rendimiento queda determinado por la manera con que el cultivo particiona la biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. A su vez, el crecimiento de un cultivo depende de la radiación interceptada, de la capacidad de canopeo para interceptarla (Eficiencia de intercepción) y de la eficiencia con que el cultivo transforme la radiación interceptada en materia seca (Eficiencia de conversión) (Andrade *et al.*, 1996).

Las hojas del maíz se disponen en ángulos agudos con respecto a la vertical (canopia erectófila). Como consecuencia principalmente de la estructura foliar, el maíz posee coeficientes de extinción de la radiación más bajos comparados con otros cultivos como girasol y soja (canopia planófila), por lo que necesita más área foliar para interceptar una misma proporción de radiación incidente. Esto explica que el IAF crítico (índice de área foliar) para el maíz sea mayor que para otros cultivos (Arguissain, 1990). Dicha disposición de las hojas favorece a una distribución más pareja de la radiación en el perfil del canopeo lo que posibilita una mayor eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa con respecto a otros cultivos (Andrade y Sadras, 2002).

El agregado de tecnología permite obtener mayores niveles de respuesta en los rendimientos (Lorenzatti, 2001).

La siembra directa proporciona una mayor eficiencia en el uso del agua, no solo permite maximizar rendimientos, sino que también aumenta la estabilidad de producción.

El riego suplementario, constituye una tecnología que permite no solo aumentar la producción, sino también disminuir la acentuada variabilidad interanual de los rendimientos (Salinas, 2003/04).

En el cultivo de maíz la floración es el período más crítico para la determinación del rendimiento (15 días antes y hasta 15-20 días después), ya que en esta etapa se fija el número de granos por unidad de superficie, variable estrechamente relacionada con el rendimiento productivo (Lorenzatti, 2001).

Un estrés hídrico en floración reduce la eficiencia de conversión en biomasa de la radiación interceptada, y posiblemente la intercepción de radiación y la partición de materia seca a espigas. Como consecuencia, aumenta el aborto de estructuras reproductivas y disminuye la producción final de grano. En este contexto, el hecho de contar con mayor cantidad de agua disponible durante el ciclo del cultivo reduce el impacto de períodos de sequía, atenuando su efecto sobre la producción (Lorenzatti, 2001).

El riego permite evitar deficiencias hídricas, lo que hace posible mantener el rendimiento a niveles óptimos, siempre que los demás factores no sean limitantes. El empleo del riego no descarta, sino requiere, el uso adecuado de las demás medidas de manejo, y no siempre resulta económicamente viable (Marozzi *et al.*, 2005).

La incorporación del sistema de riego trae aparejado un cambio en la forma de producir. Por lo tanto, resulta necesario tener en consideración varios factores antes de realizar una adopción apresurada de esta tecnología. Las condiciones que hacen factible el uso del riego en maíz son: disponibilidad de fuentes de agua naturales, topografía adecuada, manejo de épocas de siembra e híbridos para lograr reducir la demanda pico, sistemas de producción diversificados como lo son las rotaciones de cultivos y pasturas que permiten la utilización del riego en más de un cultivo (Vidal, 2001).

El consumo de agua de los cultivos está directamente influenciado por las condiciones ambientales que se dan en cada campaña. Entre las variables que más influyen están la temperatura, radiación solar, humedad relativa y viento (Caviglia y Paparotti, 1999).

La eficiencia del uso del agua (EUA) para el cultivo de maíz oscila entre 19 y 25 kg de grano.ha⁻¹ por mm de agua consumido (Caviglia y Paparotti, 1999). Según Rivetti, (2006), en la zona de Río Cuarto, la eficiencia del uso de agua varió entre 27 y 29 kg.ha⁻¹ por mm de agua consumida. Para obtener una producción máxima, requiere en su ciclo entre 400 y 700 mm dependiendo del clima (Doorenbos y Pruitt, 1977).

Otro factor básico en la producción de maíz es la fertilización, la cual es una tecnología importante en siembra directa, ya que al ser un cultivo de alto potencial de rendimiento demanda una abundante provisión de nutrientes (Gambaudo y Fontanetto, 1996).

La disponibilidad de N en la región pampeana es uno de los factores edáficos que con mayor frecuencia y en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, restringe el logro de altos rendimientos en grano de maíz. La respuesta del cultivo a las aplicaciones de N depende de factores edáficos, climáticos y de manejo (Quiroga *et al.*, 2003). En sistemas de siembra directa, la menor mineralización de la materia orgánica y la inmovilización generada por los residuos acentúa esta deficiencia nutricional (Rice y Smith, 1984).

La dosis y el momento de aplicación de los fertilizantes nitrogenados son dos factores importantes en la eficiencia del nitrógeno (Jokela y Randall, 1989).

El propósito del siguiente trabajo fue evaluar la variación del rendimiento en la producción de granos y sus componentes mediante la elección del momento más apropiado para realizar una fertilización nitrogenada y la aplicación de diferentes programaciones de riego complementario para lograr un uso eficiente del recurso hídrico en un marco agrícola sustentable.

OBJETIVOS

- ❖ Evaluar los efectos de diferentes programaciones de riego complementario sobre el rendimiento de grano de maíz y sus componentes.
- ❖ Determinar la eficiencia del uso de agua ante el empleo de diferentes programaciones de riego.

MATERIALES Y METODOS

La experiencia se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto, situado sobre Ruta 36, km 601, Río Cuarto. Su ubicación geográfica es 33° 07' LS, 64° 14' LO y a 421 m ¹snm.

Río Cuarto se ubica dentro de la Llanura Subhúmeda bien drenada, con suelos, en su mayoría, Hapludoles típicos, sin problemas de drenaje interno o externo, caracterizándose por un relieve plano, con pendientes menores al 2%, y bien desarrollados, sobre materiales loésicos, franco-arenosos (Cantero *et al.*, 1998).

El clima es templado-subhúmedo, con una media anual de precipitaciones de 805,1 mm (serie 1977-2006) (Figura 1), concentrándose entre los meses de octubre y abril (Comunicación personal)¹.

¹ Comunicación personal: Ing. Victor Rotondo, Agrometereología, FAV – UNRC.

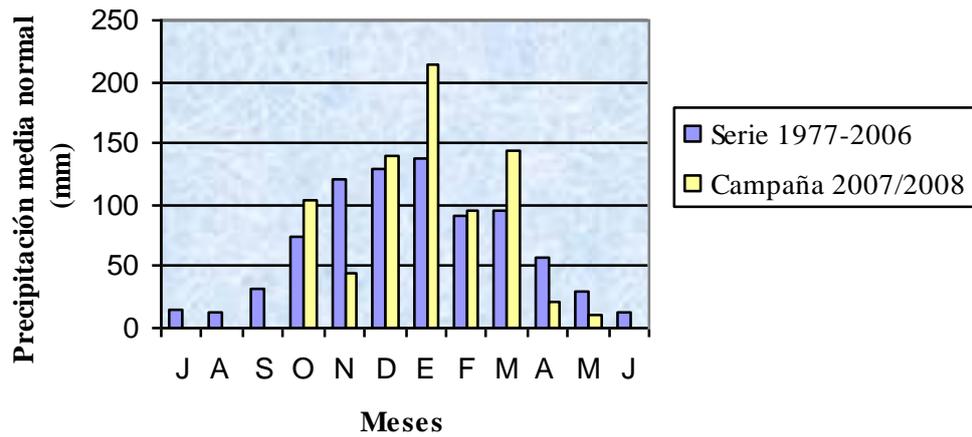


Figura 1: Precipitación media normal (serie 1977-2006) y precipitación durante la campaña 2007-2008 (mm).

El régimen térmico es templado-mesotermal, con valores medios anuales de 16,5°C, con máximas medias para el mes más cálido (enero) de 29°C y una mínima media de 3°C (Julio). El período libre de heladas es de 255,7 días, la fecha media de la primer helada es el 25 de mayo y de la última el 12 de septiembre, con una desviación de mas o menos 15 días. La intensidad del viento, factor importante en la evapotranspiración de los cultivos, oscila entre 2,8 m.seg⁻¹ y 5,5 m.seg⁻¹ (Seiler *et al.*, 1995).

En la parcela destinada al ensayo se realizó un análisis físico de suelo a los fines de establecer los parámetros edáficos y los relacionados con el agua del suelo. A través de una calicata (Figura 2) se pudieron diferenciar 8 horizontes detallados a continuación (Tablas 1 y 2):



Figura 2 – Calicata donde se observan los diferentes horizontes en el perfil del suelo.

Tabla 1: Datos de calicata.

Horizontes	Profundidad	Límites	Estructura
Ap1	0 - 5 cm	Abrupto, suave	Bloques subangulares, finos, moderados
Ap2	5 - 14 cm	Abrupto, suave	Bloques subangulares, gruesos, moderados a fuertes
Ad	14 - 22 cm	Abrupto, suave	Bloques angulares, medios, moderados
Bw1	22 - 35 cm	Claro, suave	Bloques subangulares, medios, moderados
Bw2	35 - 49 cm	Claro, suave	Bloques subangulares, medios a finos, moderados a débiles
BC	49 - 66 cm	Claro, suave	Bloques subangulares, finos, moderados a débiles
C	66 - 82 cm	Gradual, suave	Bloques subangulares, finos, débiles
Ck	82 cm a más	Difuso, ondulado	Masivo

Tabla 2: Parámetros físicos del suelo.

Horizontes	Densidad Aparente (PEA) g.cm ⁻³	Humedad a Cap. de Campo (g.g ⁻¹)	Humedad a Punto de Marchitez (g.g ⁻¹)	Lámina en Wc (mm)	Lámina en Wm (mm)
Ap1	1,3	21,53	9,33	13,99	6,06
Ap2	1,32	20,23	8,97	24,03	10,66
Ad	1,4	19,05	9,15	21,34	10,25
Bw1	1,39	19,7	9,14	35,60	16,52
Bw2	1,28	18,15	9,09	32,54	16,29
BC	1,3	16,77	8,21	37,06	18,14
C	1,29	16,52	7,42	34,10	15,31
Ck	1,3	16,65	7,48	38,96	17,50
				237,63	110,73

AU (Agua Útil)= 126,9

Nota: PEA: Peso Específico Aparente; Wc: Capacidad de Campo; Wm: Punto de Marchitez Permanente.

También se llevó a cabo un muestreo representativo de suelo en 5 puntos de la parcela (Figura 3) mediante la utilización de un barreno perteneciente a la cátedra de Hidrología Agrícola, llegando hasta 1 metro de profundidad incluyendo todos los horizontes del perfil (8) para la realización de un análisis químico.

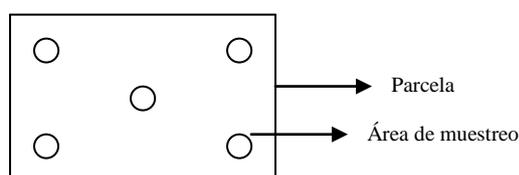


Figura 3: Muestreo de suelo

Los resultados obtenidos de dicho análisis se detallan a continuación (Tabla 3):

Tabla 3: Resultados de análisis químico.

Horizonte	Prof.	P	N-NO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	H°	M.O.	pH	CIC
	cm	ppm	ppm	ppm	%	%		Cmol/Kg
1	0-5	48,00	25,10	111,19	25,54	2,90	6,54	22,6
2	5-14	31,00	13,36	59,18	26,12	1,97	6,13	19,50
3	14-22	26,25	12,97	57,46	24,79	1,96	6,17	17,80
4	22-35	25,00	10,21	45,23	21,61	1,75	6,29	21,00
5	35-49	25,10	10,65	47,18	18,40	0,98	6,86	16,50
6	49-66	14,00	7,88	34,91	15,90	0,65	7,81	14,80
7	66-82	10,00	5,43	24,05	13,12	0,49	7,77	10,80
8	82-100	7,60	4,32	19,14	13,50	0,38	8,09	10,20

Los cultivos antecesores fueron avena en invierno 2006, soja en primavera-verano 2006/07 y avena guacha en invierno 2007.

En cuanto a las labores previas a la siembra, se realizó una aplicación de glifosato el 5 de septiembre con una dosis de 4 l.ha⁻¹ (presencia de avena guacha).

La siembra del cultivo se realizó el 7 de diciembre de 2007², con una densidad de 95.000 plantas.ha⁻¹, con un distanciamiento entre hileras de 0.52 m, utilizando el híbrido AX 884 CL de NIDERA.

El diseño experimental fue de franjas en bloques con dos factores: (Figura 4).

- Factor 1: Riego con 5 niveles.
- Factor 2: Fertilización con 2 niveles.

Se realizaron 5 repeticiones (Bloques).

Las parcelas experimentales tenían una dimensión de 15 m por 10 m.

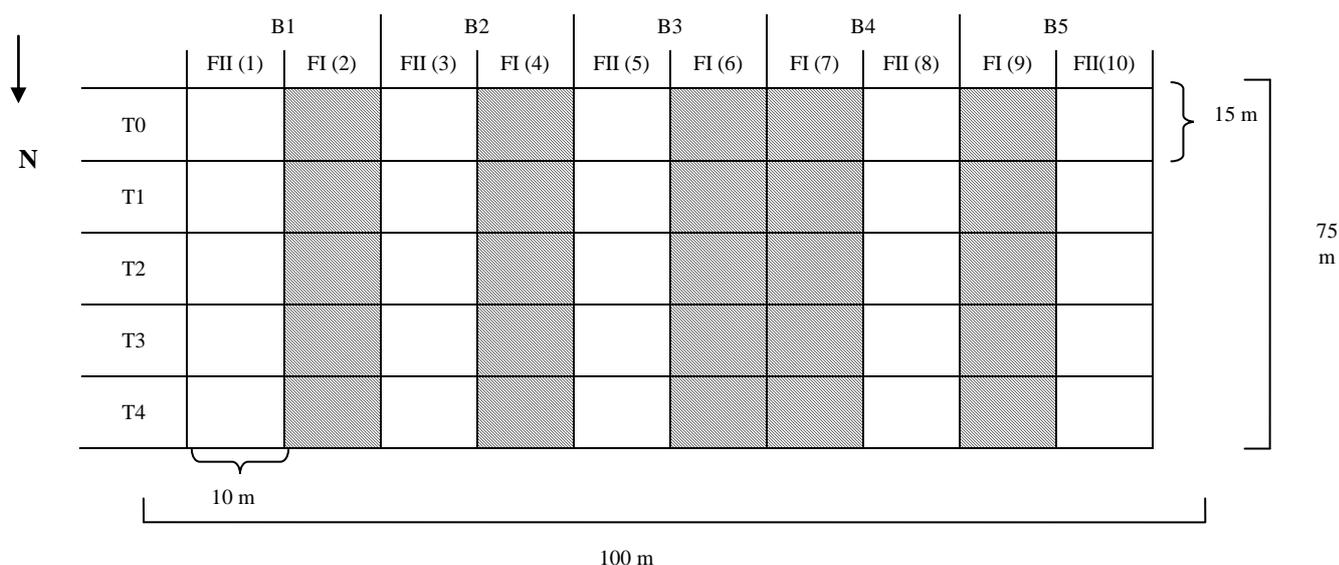


Figura 4: Diseño de campo

² El retraso de la fecha de siembra prevista para los primeros días de Octubre se debió a problemas técnicos existentes en el equipo de riego.

Los tratamientos de riego fueron los siguientes:

T0: Testigo; partiendo de capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, efectuándose la reposición cuando se consumieron 25 mm.

T1: Partiendo desde capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo, aplicando la lámina necesaria para llevar la humedad del suelo a capacidad de campo cuando se consumían 25 mm, siempre y cuando en el pronóstico extendido de 72 horas brindado por el Servicio Meteorológico Nacional no indicaba lluvias. En caso de no ocurrencia se aplicó la lámina correspondiente.

T2: Partiendo desde capacidad de campo, se regó durante todo el ciclo con una lámina de 25 mm, cada vez que se alcanzó el umbral de riego correspondiente. Salvo que el pronóstico anunciara precipitaciones.

T3: El riego se realizó considerando tres fases, Fase 1: desde siembra hasta 12 hojas, Fase 2: desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso y Fase 3: desde grano lechoso hasta madurez fisiológica. En la fase 1 y 3 se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en la etapa 2, sin estrés ($K_s = 1$). Al alcanzar el umbral establecido para cada fase se aplicó una lámina de 25 mm.

T4: El riego se realizó considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en todo el ciclo. Cada vez que se alcanzaba el umbral establecido se aplicó una lámina de riego de 25 mm.

El umbral de riego a considerar fue cuando se producía el agotamiento del agua realmente disponible, que es una proporción (p) del agua totalmente disponible, de acuerdo a la metodología brindada por FAO (Allen *et al.*, 1998).

Para maíz:

$$p=0.55 + 0.04 (5 - ETc)$$

Donde:

ETc = evapotranspiración del cultivo

Los tratamientos de fertilización fueron:

FI: Fertilización nitrogenada completa en el estadio fenológico de 6 hojas (V6).

FII: Fertilización nitrogenada repartida en siembra y estadio fenológico de 6 hojas (V6).

La fertilización se realizó al voleo de forma manual con Urea (46% de N), fertilizante que se caracteriza por ser muy soluble y de alta higroscopicidad, facilidad de manejo y su mayor pérdida es por volatilización. Se aplicaron 300 kg.ha⁻¹ en FI y en FII, 100 kg.ha⁻¹ en la siembra y 200 kg.ha⁻¹ en V6.

El riego se realizó con un equipo de avance lateral de 87,6 m de longitud de trabajo, con sistema de distribución del agua con tuberías de bajada y emisión mediante difusores con reguladores de presión. El agua es provista por una perforación, con muy buena calidad para riego.

La determinación del momento de riego se realizó mediante un balance del agua en el suelo, regando cuando el mismo indicaba el nivel de agotamiento permisible, aportándose la cantidad de agua establecida para cada uno de los distintos tratamientos.

La información climática necesaria se obtuvo de la Estación Agrometeorológica instalada en el lugar, dependiente del Servicio de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto.

Las variables respuestas evaluadas fueron: producción de grano cosechado en madurez fisiológica, ajustándose el rendimiento al 14% de humedad y los componentes de rendimiento (nº de granos.m⁻² y peso de los 1000 granos).

La cosecha se realizó manualmente el 21 de abril de 2008 cuando el cultivo se encontraba en el estado fenológico de madurez fisiológica, cosechando 5 m² por parcela (9,6 m lineales), representando 3 hileras de 3,20 m lineales por parcela. La trilla se realizó con una máquina trilladora estacionaria perteneciente a la Facultad de Agronomía y Veterinaria.

En la cosecha se determinó el número de espigas por planta, el número de hileras por espiga y el número de granos por hilera. Los dos últimos valores se cuantificaron mediante la extracción de 5 espigas al azar de las recogidas para producción de grano. El peso de los 1000 granos, se obtuvo a partir de una muestra de 500 granos contados manualmente, procedimiento que se realizó para cada tratamiento y repetición. El peso de los granos fue ajustado a la humedad de comercialización (14%).

La eficiencia de uso del agua (EUA) representa el rendimiento de grano por unidad de agua usada por el cultivo. Se utilizó, para su obtención, lo sugerido por Tanner y Sinclair (1983) (Citado en: Hatfield *et al.*, 2001), quienes resumieron las distintas formas que pueden ser usadas para caracterizarla de la siguiente manera:

$$EUA = \frac{Y}{ET}$$

donde:

EUA: Eficiencia de uso del agua (gr.m⁻².mm⁻¹)

Y: Rendimiento de grano del cultivo (gr.m⁻²)

ET: Evapotranspiración del cultivo (mm), obtenida desde el balance de agua.

Empleando el software estadístico *Infostat* (Di Rienzo *et al.*, 2002) se realizó el análisis de varianza y prueba de comparación de medias, efectuándose previamente un estudio de normalidad de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento en grano del cultivo y sus componentes

Se analizó el rendimiento en grano y sus componentes: número de hileras por espiga, número de granos por hilera, número de granos por espiga, peso de los mil granos y granos por m². Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Rendimiento en grano y sus componentes.

T	Bloque	Fert.	Nº hil/esp	Nº gran/hil	Nº grano/esp	Peso 1000 granos (gr)	Nº granos.m ⁻²	Rend. (kg.ha ⁻¹)
0	1	FII (1)	15	33	495	350	3960	12120
		FI (2)	16	33	528	329	4224	12720
	2	FII (3)	15	30	450	345	3600	11840
		FI (4)	15	33	495	315	3960	12720
	3	FII (5)	16	36	576	329	4608	13340
		FI (6)	15	34	510	336	4080	12060
	4	FI (7)	15	33	495	356	3960	12420
		FII (8)	16	33	528	376	4224	11440
	5	FI (9)	15	35	525	349	4200	11080
		FII (10)	16	30	480	337	3840	13980
	Prom.		15,4	33	508,2	342,2	4065,6	12372
1	1	FII (1)	14	38	532	339	4256	11260
		FI (2)	15	32	480	364	3840	11340
	2	FII (3)	15	33	495	344	3960	11320
		FI (4)	15	32	480	344	3840	10828
	3	FII (5)	15	35	525	346	4200	11400
		FI (6)	15	34	510	364	4080	12220
	4	FI (7)	16	29	464	377	3712	11660
		FII (8)	15	30	450	397	3600	11380
	5	FI (9)	15	31	465	334	3720	11726
		FII (10)	15	34	510	377	4080	10980
	Prom.		15	32,8	492	358,6	3928,8	11411,4
2	1	FII (1)	16	33	528	354	4224	9920
		FI (2)	14	30	420	330	3360	10360
	2	FII (3)	14	31	434	359	3472	10100
		FI (4)	15	31	465	334	3720	10526
	3	FII (5)	16	33	528	328	4224	11820
		FI (6)	15	33	495	336	3960	10760
	4	FI (7)	15	28	420	336	3360	12470
		FII (8)	16	35	560	372	4480	11320
	5	FI (9)	16	32	512	344	4096	10620
		FII (10)	15	29	435	336	3480	10400
	Prom.		15,2	31,5	478,8	342,9	3837,6	10829,6
3	1	FII (1)	14	33	462	260	3696	10434
		FI (2)	16	33	528	377	4224	11600
	2	FII (3)	15	28	420	361	3360	9440
		FI (4)	15	31	465	362	3720	12740
	3	FII (5)	15	34	510	331	4080	11248
		FI (6)	15	34	510	387	4080	12980
	4	FI (7)	15	32	480	384	3840	11240
		FII (8)	15	35	525	387	4200	11800
	5	FI (9)	16	32	512	354	4096	10940
		FII (10)	16	38	608	340	4864	11660
	Prom.		15,2	33	501,6	354,3	4016	11408,2
4	1	FII (1)	15	30	450	361	3600	12540
		FI (2)	16	33	528	372	4224	12460
	2	FII (3)	14	30	420	412	3360	11078
		FI (4)	16	29	464	340	3712	12600
	3	FII (5)	15	31	465	359	3720	12200
		FI (6)	16	31	496	353	3968	11380
	4	FI (7)	15	31	465	350	3720	11400
		FII (8)	16	31	496	371	3968	12220
	5	FI (9)	15	31	465	338	3720	11480
		FII (10)	15	38	570	413	4560	11440
	Prom.		15,3	31,5	481,95	366,9	3855,2	11879,8

Nota: T: Tratamiento de riego; Bloque= Repetición.

Rendimientos similares se obtuvieron en la Provincia de Buenos Aires en lotes sembrados con el híbrido Nidera AX 882 (híbrido muy similar al utilizado en este ensayo) donde se obtuvieron rendimientos entre 10000 y 13400 Kg.ha⁻¹ cultivados en secano pero con un promedio de 550 mm de precipitación (Weilenmann de Tau *et al.*, 2002).

El rendimiento promedio del tratamiento T0 (más regado), mantenido cerca de capacidad de campo durante todo el ciclo del cultivo fue de 12372 kg.ha⁻¹, que representa un 4% (492 kg.ha⁻¹) por encima del rendimiento obtenido en el tratamiento T4 (menos regado). Los demás tratamientos presentan un rendimiento similar al obtenido en T4, observándose el valor más bajo en el T2 (Figura 5).

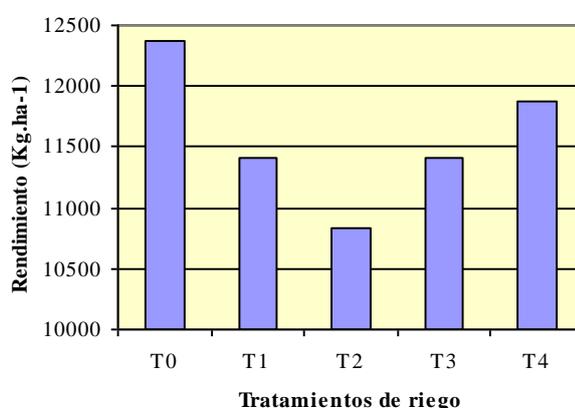


Figura 5: Rendimiento en Kg.ha⁻¹ para los diferentes tratamientos de riego.

Rendimiento en grano

Se realizó un análisis descriptivo de la variable “rendimiento en grano”. Los diagramas de cajas que se presentan a continuación (Figura 6a y 6b) ilustran cada uno de los tratamientos de riego y fertilización respecto al rendimiento en grano. En la Figura 6a se observa que la mayor amplitud esta dada en el tratamiento FII, con valores más extremos, siendo menos homogéneos que en FI, dando ambos valores medios similares. En la Figura 6b se observa que el mayor promedio se da en el tratamiento T0 (1), mientras que los demás presentan promedios similares.

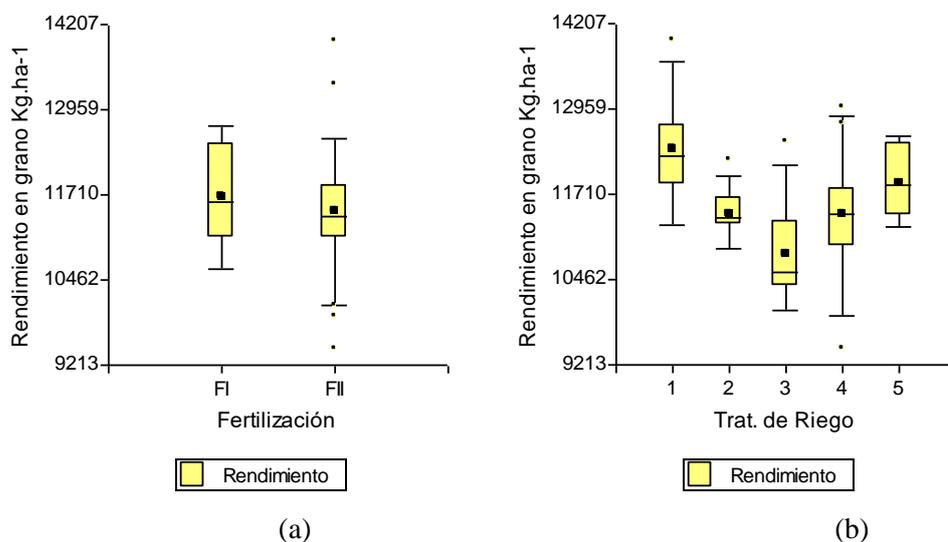


Figura 6: Rendimiento en grano para los distintos tratamientos de riego y fertilización.

Nota: Tratamientos de riego: T0=1, T1=2, T2=3, T3=4, T4=5.

El análisis de varianza resultó estadísticamente significativo a un nivel del 5% entre los diferentes tratamientos de riego y no significativo entre los niveles de fertilización respecto al rendimiento en grano con una confiabilidad del 72% (R^2) y un coeficiente de variación (CV) de 7.24 % (Tabla 1 Anexo). No hay interacción entre los efectos de los factores Riego y Fertilización ($p= 0,5078$), actúan en forma *independiente* para la variable en estudio (rendimiento).

También se realizó un análisis de comparación de medias con el Test de Tukey (Tabla 2 y 3 Anexo), donde se aprecia que hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de riego T0 y T4 con respecto a T2 (menor valor). Los demás tratamientos no presentaron diferencias significativas. En cuanto a los tratamientos de fertilización no se encontró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos FI y FII.

Los efectos sobre el rendimiento fueron indistintos en cuanto al momento de aplicación del fertilizante. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Barraco *et al.*, (2005) pero difieren de los encontrados por Ferrari *et al.*, (2001) en suelos de texturas similares en los que las aplicaciones en V6 resultaron en mayores rendimientos que las realizadas en el momento de la siembra. En el presente ensayo, la ausencia de diferencias significativas en la producción de grano de maíz según momentos de aplicación puede atribuirse a escasas pérdidas de N por lixiviación entre el periodo siembra – V6 y a la captación y acumulación temprana de N en la biomasa aérea del cultivo.

Número de granos por m²

El número de granos.m⁻² está en función del número de granos por espiga (número de hileras por espiga multiplicado por el número de granos por hilera) y del número de espigas.m⁻². En este ensayo el número de plantas al momento de la cosecha fue de 8 plantas por m², por cada parcela, obteniéndose 1 espiga por planta.

En un ensayo realizado por Otegui *et al.* (1995a) encontraron que disminuía el número de granos.m⁻² cuando disminuía el agua disponible para evapotranspiración, coincidiendo con el resultado obtenido en el tratamiento T4 el cual presentó valores bajos en cuanto a evapotranspiración y número de granos.m⁻².

Se realizó un análisis de varianza obteniendo como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de fertilización ($p=0,8484$) y tratamientos de riego ($p=0,1335$) para la variable N° de granos.m⁻² (Tabla 4 Anexo).

Si se analizan los diagramas de cajas sobre el “número de granos.m⁻²” (Figura 7), se observa que el tratamiento de riego que presenta menor variabilidad es el T1 (2). Los promedios más bajos se observan en T2 (3) y T4 (5) cercanos a los 3800 granos.m⁻² (Figura 7a). En cuanto a los tratamientos de fertilización, el que presenta menos variabilidad es el FI, pero los valores promedios son similares (Figura 7b).

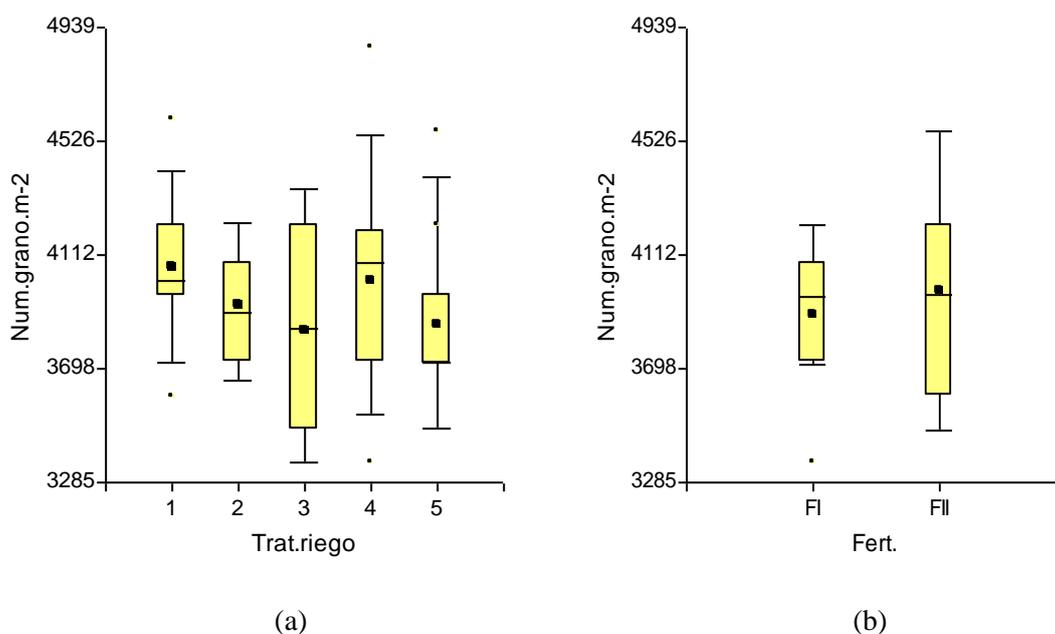


Figura 7: Número de granos.m⁻² para los tratamientos de riego y fertilización.

Nota: Tratamientos de riego: T0=1, T1=2, T2=3, T3=4, T4=5.

Número de granos por hilera

El análisis de varianza realizado para la variable “número de granos por hilera” arrojó como resultado que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de fertilización ($p=0,1541$) y tratamientos de riego ($p=0,3516$) (Tabla 5 Anexo).

En la Figura 8a se puede observar que en el diagrama de cajas se evidencia una mayor variabilidad entre los tratamientos de fertilización FI y FII, pero las medias son similares ubicándose alrededor de 33 granos por hilera. En la Figura 8b referente a los distintos tratamientos de riego se observa un comportamiento similar al anterior para T0 (1), T1 (2) y T3 (4), mientras que los valores promedios mas bajos se observan en T2 (3) y T4 (5) alrededor de 31 granos por hilera.

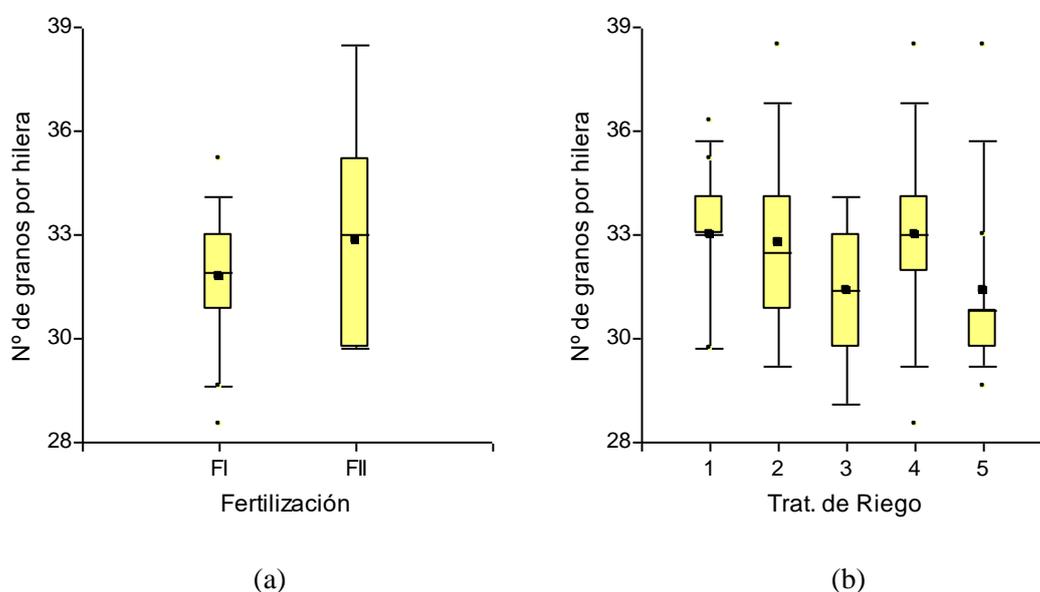


Figura 8: Número de granos por hilera para los tratamientos de riego y fertilización.

Nota: Tratamientos de riego: T0=1, T1=2, T2=3, T3=4, T4=5.

Número de granos por espiga

En el análisis de varianza realizado para la variable “número de granos por espiga” se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de fertilización ($p=0,3629$) y tratamientos de riego ($p=0,4960$) para dicha variable (Tabla 6 Anexo).

Analizando los diagramas de cajas donde se relaciona el “número de granos por espiga” respecto a los diferentes tratamientos de riego y fertilización (Figura 9a y 9b) se evidencia una mayor variabilidad en FII respecto a FI, pero las medias presentan valores similares alrededor de 514 granos por espiga (Figura 9a). En la figura 9b se observa un comportamiento similar al anterior.

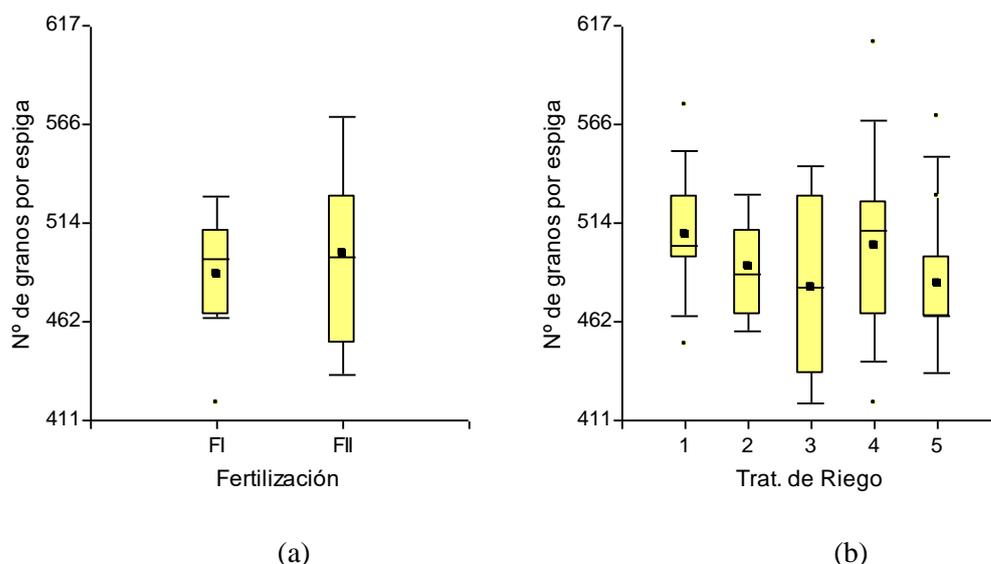


Figura 9: Número de granos por espiga para los tratamientos de riego y fertilización.

Nota: Tratamientos de riego: T0=1, T1=2, T2=3, T3=4, T4=5.

Peso de los 1000 granos

El peso medio de los granos depende de la duración del período efectivo de llenado desde fecundación hasta madurez fisiológica (formación de la capa negra en la base del grano) y de la tasa de llenado. La tasa de llenado se puede incrementar con la temperatura, lo que trae aparejado un acortamiento de la duración del período de llenado y por ende una reducción en el peso final del grano. La senescencia foliar también afecta el peso de los granos ya que al haber menor área foliar fotosintéticamente activa, disminuye la eficiencia de partición de fotoasimilados hacia los granos.

Los resultados obtenidos en el presente ensayo no concuerdan con las experiencias de Pandey *et al.* (2000) y Andrade *et al.* (1996), quienes encontraron una disminución en el peso del grano cuando provocaban déficit de agua en el cultivo, durante el crecimiento reproductivo y en algunas fases del crecimiento vegetativo. Esto puede evidenciarse a través del valor obtenido en el tratamiento T4, al cual solo se le realizó un riego de 25 mm en todo el ciclo, logrando el mayor peso de los 1000 granos con un promedio de 366,9 gr.

Analizando los datos expuestos en la Tabla 4 acerca del peso de los 1000 granos, se observa que los promedios son similares, el análisis de varianza muestra que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los niveles de fertilización ($p=0,5048$) y tratamientos de riego ($p=0,1508$) (Tabla 7 Anexo).

Dicho resultado se evidencia en los diagramas de cajas donde se relaciona el peso de los 1000 granos con los diferentes tratamientos de riego y fertilización (Figura 10a y 10b). Esto puede explicarse debido a que el cultivo pasó el período de floración, formación de número de

granos y llenado de los mismos bajo condiciones climáticas similares por lo que no se evidencia una diferencia significativa en los diferentes tratamientos.

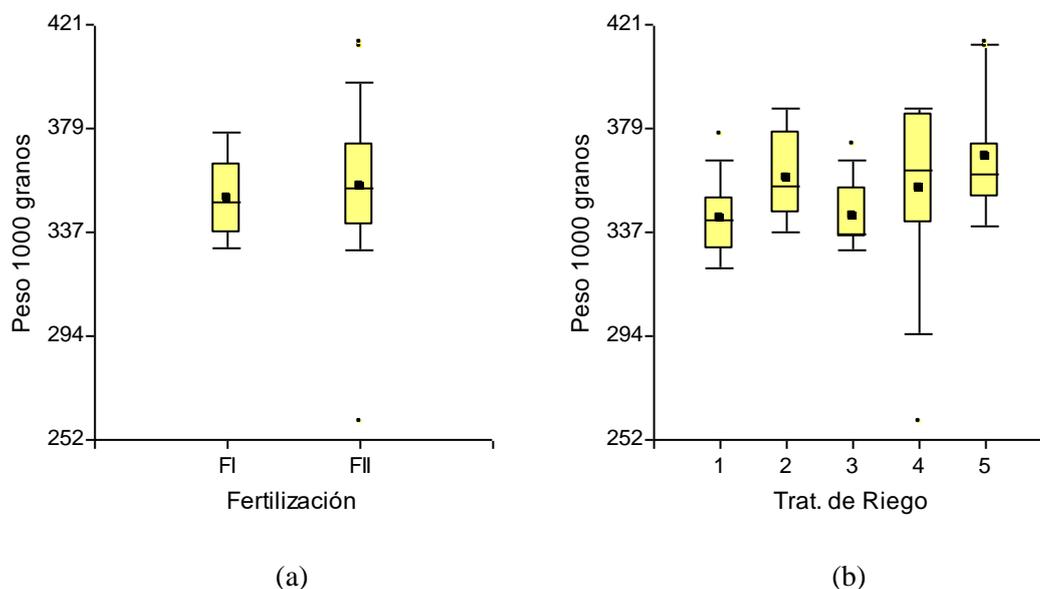


Figura 10: Peso de los 1000 de granos para los tratamientos de riego y fertilización.

Nota: Tratamientos de riego: T0=1, T1=2, T2=3, T3=4, T4=5.

Balance Hídrico

A lo largo del ciclo del cultivo se realizaron diferentes riegos complementarios según los tratamientos con una lámina de 25 mm cada uno, totalizando 5 riegos en el tratamiento T0 (125 mm), 4 riegos en T1 (100 mm), 2 riegos en T2 y T3 (50 mm), y 1 riego en T4 (25 mm).

Las precipitaciones durante el período de evaluación fueron de 540 mm mientras que la evapotranspiración del cultivo fue de 440 mm para el tratamiento T4 y entre 460 y 480 mm para los tratamientos T0, T1, T2 y T3 aproximadamente.

El período crítico del cultivo tuvo una duración aproximada de 5 semanas, encontrándose entre la semana 8 y fines de la 12.

En la Tabla 5 se indican los diferentes riegos realizados, la evapotranspiración del cultivo, la precipitación efectiva ocurrida durante el ciclo del cultivo y la duración del período crítico.

Tabla 5: Riegos aplicados (R), Precipitación efectiva y Evapotranspiración del cultivo (ETc).

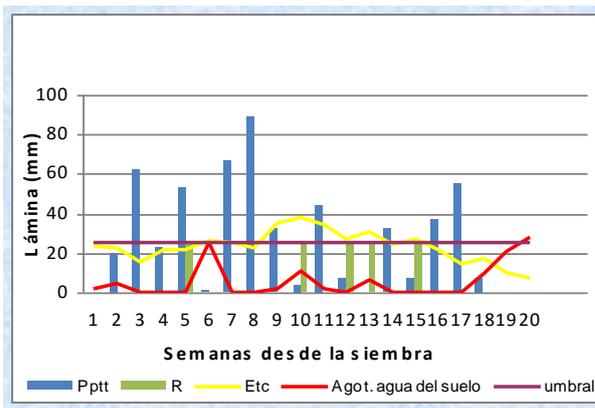
Semanas del ciclo	Precip. Efec. (mm)	T0		T1		T2		T3		T4	
		ETc	R	ETc	R	ETc	R	ETc	R	ETc	R
1	0	23,14		23,14		23,14		23,14		23,14	
2	20	22,10		22,10		22,10		22,10		22,10	
3	61,9	15,24		15,24		15,24		15,24		15,24	
4	22,5	21,83		21,83		21,83		21,83		21,83	
5	53	21,29	25	24,45		24,45		21,23		19,78	
6	1	25,81		29,37		29,37		29,37		17,63	
7	66,9	25,60		28,57		28,57		28,57		28,57	
8	89,1	22,24		24,07		24,07		24,07		24,07	
9	32,6	34,79		37,86		36,72		37,86		37,86	
10	4	38,00	25	38,45	25	38,00		38,45		38,45	
11	43,7	34,51		34,51		34,51		34,51		34,51	
12	7	27,43	25	27,43	25	27,43	25	27,43	25	27,43	25
13		30,94	25	30,94	25	30,94	25	23,52	25	18,55	
14	32,6	24,30		24,30		24,30		24,30		16,45	
15	7	27,09	25	26,44	25	27,09		26,44		26,44	
16	36,7	21,79		20,36		21,79		20,36		20,36	
17	54,6	14,66		13,62		14,66		13,62		13,62	
18	7	17,30		15,92		17,30		15,92		15,92	
19		10,25		9,33		10,25		9,33		9,33	
20		7,61		6,86		7,61		6,86		6,86	
Total	539,6	465,92	125	474,79	100	479,37	50	464,15	50	438,14	25

Nota: Período crítico del cultivo (Sombreado en verde).

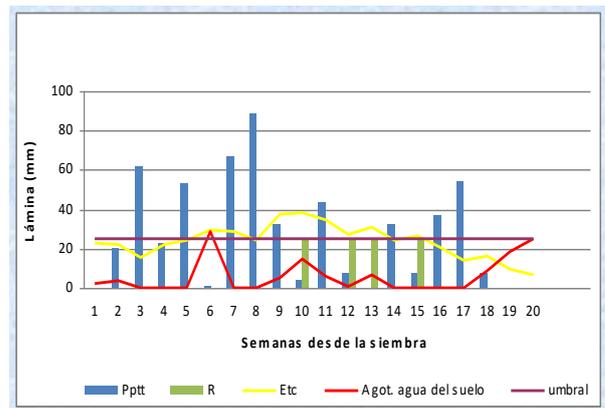
La evolución del agotamiento del agua en el suelo, la ETc, las precipitaciones y los riegos efectuados durante el ciclo del cultivo para los distintos tratamientos, se observan en la Figura 11.

En la Figura 11 (A) correspondiente al tratamiento T0, se regó cuando se consumían 25 mm del agua del suelo (umbral). Se puede observar que en la semana 6 el agotamiento del agua en el suelo alcanzó el umbral pero sin superarlo por lo que no se realizó el riego correspondiente. Posterior a esta semana el agotamiento del agua del suelo se mantuvo muy por debajo del umbral hasta final del ciclo, debido a las precipitaciones ocurridas y riegos aplicados durante este período.

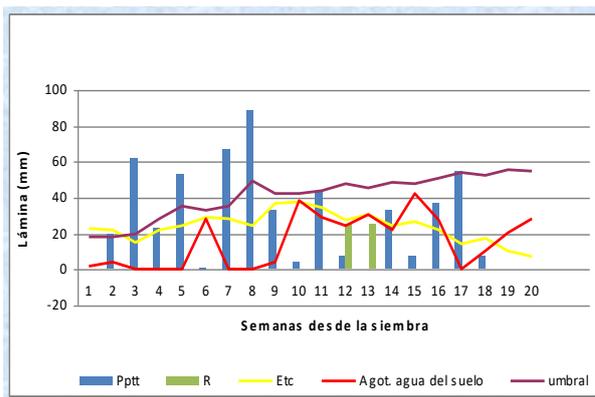
En la Figura 11 (B) correspondiente al tratamiento T1, se regó cuando se consumían 25 mm del agua del suelo (umbral) pero cuando el pronóstico extendido de 72 horas brindado por el Servicio Meteorológico Nacional no indicaba lluvias. Se puede observar que en la semana 6 el agotamiento del agua en el suelo superó el umbral pero no se realizó el riego correspondiente debido a que el pronóstico extendido anunciaba precipitaciones. Posterior a esta semana el agotamiento del agua del suelo se mantuvo muy por debajo del umbral hasta final del ciclo.



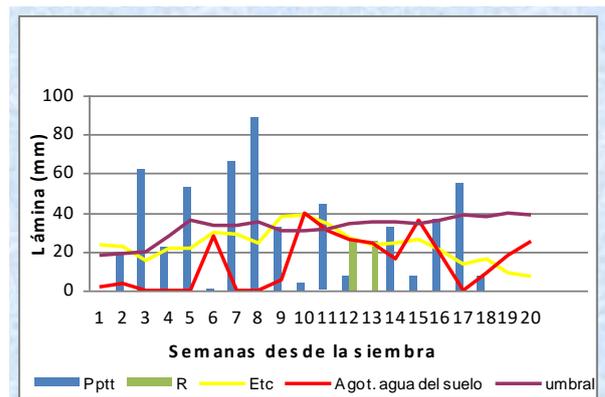
A



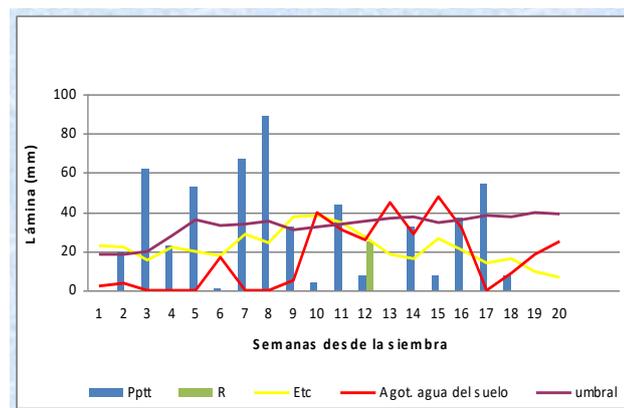
B



C



D



E

Figura 11: Evolución del agotamiento del agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo (Etc), precipitaciones (Pptt) y riegos realizados para los distintos tratamientos, **T0**: A, **T1**: B, **T2**: C, **T3**: D, **T4**: E.

En la Figura 11 (C) correspondiente al tratamiento T2, se regó durante todo el ciclo con una lámina de 25 mm, cada vez que se alcanzó el umbral de riego correspondiente. Salvo que el pronóstico anunciara precipitaciones. Se puede observar que a lo largo de todo el ciclo nunca se superó el umbral debido a las precipitaciones ocurridas y riegos aplicados durante este período.

En la Figura 11 (D) correspondiente al tratamiento T3, el riego se realizó considerando tres fases, Fase 1: desde siembra hasta 12 hojas, Fase 2: desde 12 hojas hasta principio de grano lechoso y Fase 3: desde grano lechoso hasta madurez fisiológica. En la fase 1 y 3 se contempló un umbral de riego considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60, en la etapa 2, sin estrés ($K_s = 1$). Se puede observar que en las semanas 10 y 15 el agotamiento del agua del suelo superó el umbral pero no se realizaron los riegos correspondientes ya que el pronóstico extendido anunciaba precipitaciones.

Por último, en la Figura 11 (E) correspondiente al tratamiento T4, se regó durante todo el ciclo con una lámina de 25 mm, cada vez que se alcanzó el umbral de riego correspondiente considerando un coeficiente de estrés K_s de 0.60. Se puede observar que en las semanas 10, 13 y 15 el agotamiento del agua en el suelo superó el umbral pero no se realizaron los riegos correspondientes ya que el pronóstico extendido anunciaba precipitaciones.

Eficiencia de uso del agua (EUA)

La eficiencia del uso del agua para rendimiento en grano se muestra a continuación (Tabla 6).

Tabla 6: Eficiencia del uso del agua.

Tratamientos	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento (gr.m ⁻²)	Etc (mm)	EUA (gr.m ⁻² .mm ⁻¹)
T0	12372	1237,2	465,92	2,65
T1	11411,4	1141,14	474,79	2,4
T2	10829,6	1082,96	479,37	2,25
T3	11408,2	1140,82	464,15	2,45
T4	11879,8	1187,98	438,14	2,71

Nota: 1 gr.m⁻².mm⁻¹ = 1 kg.m⁻³.

La Eficiencia del uso de agua para rendimiento en grano alcanzó valores comprendidos entre 2,25 y 2,71 kg.m⁻³, con un promedio entre tratamiento de 2,49 kg.m⁻³, resultado muy similar a los obtenidos por Schmalz (2007) y Rivetti (2004) utilizando el mismo híbrido y en el mismo campo experimental, con un promedio entre tratamientos de 2,57 kg.m⁻³ y 2,7 kg.m⁻³ respectivamente.

Analizando los resultados obtenidos se puede observar que el tratamiento T2 presenta el menor valor y el tratamiento T4 el mayor respecto a la EUA. Este resultado coincide con lo expuesto por otros estudios realizados donde se indican aumentos de la EUA cuando disminuye la evapotranspiración del cultivo (ETc) (Kang *et al.*, 2000; Karam *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

- El rendimiento de grano del cultivo de maíz y sus componentes (n° granos.m⁻² y peso de 1000 granos), en la zona de Río Cuarto, presentan respuesta significativamente positiva entre los distintos tratamientos a la práctica del riego.
- La aplicación de una lámina total de 125 mm en el tratamiento de riego T0 (más regado) generó un aumento en la producción de grano del 4% por encima del rendimiento obtenido en el tratamiento T4 (menos regado).
- La eficiencia del uso del agua en este ciclo no presentó diferencia significativa entre los tratamientos.
- Al no haber diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos de fertilización se concluye que la fertilización nitrogenada, independientemente del momento de aplicación del N, es una práctica relevante para el logro de cultivos de maíz de alta producción.

BIBLIOGRAFIA

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., Y SMITH, M 1998 **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. FAO. Irrigation and drainage. Paper 56. Roma. 300pp.

ANDRADE,F.;A. CIRILO;S.UHART Y M. OTEGUI 1996 **Ecofisiología del cultivo de maíz**. Editorial La Barrosa. Balcarce. Buenos Aires. 292pp.

ANDRADE, F.H. Y V.O. SADRAS 2002 **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. Producciones gráficas Sirio. EEA INTA Balcarce. Facultad de Ciencias Agrarias UNMP. 443 pp. Capítulo 3. Pág. 61-91.

ARGUISSAIN, G.G. 1990 Productividad de maíz en Balcarce. Tesis Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata. 48 pp.

BARRACO M. Y M. DIAZ – ZORITA 2005 Momento de fertilización nitrogenada de cultivos de maíz en hapludoles típicos. EEA INTA General Villegas. Cátedra de Cereales. UBA. Buenos Aires. Argentina.

CANTERO A., CANTU M.P., CISNEROS J.M., CANTERO J.J., BLARASIN M., DEGIOANNI A., GONZALEZ J., BECERRA V., GIL H., DE PRADA J., DEGIOANNI S., CHOLAKY C., VILLEGAS M., CABRERA A. Y C. ERIC 1998 **Las tierras y aguas del Sur de Córdoba. Propuestas para un manejo sustentable**. UNRC. 119 pp.

CAVIGLIA Y PAPAROTTI -AAPRESID 1999 Maíz en SD. Jornadas de intercambio técnico de maíz. Agua. Pág. 19-33.

DI RIENZO, J. A., BALZARINI, M., CASANOVES, F., GONZALEZ, L., TABLADA, M. Y C. W. ROBLEDO 2002 InfoStat/ Profesional versión 1.1. Cátedra de Estadística y Diseño. UNC.

DOORENBOS, J. Y W.O. PRUITT 1977 **Las necesidades de agua de los cultivos**. Serie Riego y Drenaje. FAO N° 24. Roma.

FERRARI M.C., OSTOJIC J.J., FERRARIS G.N., LA VENTIMIGLIA; HC CARTA Y SN RILLO 2001 Momento de aplicación de fertilizante nitrogenado en maíz de siembra directa. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino 7 al 9 de noviembre de 2001.

GAMBAUDO S. Y H. FONTANETTO 1996 Fertilización en maíz. Información para extensión. EEA INTA Rafaela, Santa Fe, Argentina.

HATFIELD, J.L., SAUER, T.J. AND J.H. PRUEGER. 2001 Managing soils to achieve greater water use efficiency. A review. **Agronomy Journal** 93:271-280.

JOKELA W.E. AND G. W. RANDALL 1989 Corn yield and residual soil nitrate as affected by time and rate of nitrogen application. **Agronomy Journal**. 81: 720-726.

KANG, S., SHI, W. AND J. ZHANG 2000 An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. **Field Crops Research** 67: 207-214.

KARAM, F., BREIDY, J., STEPHAN, C. Y J. ROUPHAEL 2003 Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekae Valley of Lebanon. **Agricultural Water Management**. 63: 125-137.

LORENZATTI S. 2001 El Cultivo de maíz en siembra directa. **AAPRESID-publicaciones técnicas**. En: www.acampo.com . Consultado: 30/01/08.

MAROZZI, D.G, DEBORTOLI, G.D, MENDEZ, M. Y H. CURRIE 2005 Determinación de algunos indicadores de rendimiento en el cultivo de maíz bajo dos sistemas de riego. Cátedra de Hidrología Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE.

OTEGUI M.E, ANDRADE F.H. Y E.E. SUERO 1995a Growth, water use, and kernel absorption of maize subjected to drought at silking. *Field Crop Research*. 40:87-94.

PANDEY R.K, MARANVILLE J.W. Y M.M. CHETIMA 2000 Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction. **Agricultural Water Management**. 46:15-27.

QUIROGA, A; D FUNARO; O ORMEÑO; A BONO Y C SCIANCA 2003 Manejo del agua para los cultivos de girasol y maíz en suelos de las regiones semiárida y subhúmeda pampeana. Cultivos de Cosecha Gruesa. **Actualización 2003. Boletín de Divulgación Técnica N° 77**. EEA INTA Anguil. 264 pp.

RICE, S.W. Y M.S. SMITH 1984 Short-term immobilization of fertilizer nitrogen at the surface of no-till and plowed soils. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 48: 295-297.

RIVETTI, A.R. 2004 **Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina**. Tesis: Magíster Scientiae. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina. 92 pp.

RIVETTI, A.R. 2006 Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. **Revista FCA. UNCuyo**. Tomo XXXVIII. N°2: 25-36.

SALINAS A. I. 2003/04 Proyecto regional de agricultura sustentable e impacto agroambiental. Riego suplementario, una necesidad creciente. Ediciones: INTA – EEA Manfredi. En: www.inta.gov.ar . Consultado: 30/01/08.

SCHMALZ H.J 2007 Respuesta del cultivo de maíz a diferentes modelos de riego complementario. Tesis de grado. FAV. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. 21 pp.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y ALIMENTACIÓN DE LA NACIÓN (SAGPyA) 2007 Estimaciones Agrícolas. Buenos Aires. Argentina. En: www.sagpya.mecon.gov.ar . Consultado: 30/01/08.

SEILER R.A., FABRICIUS R.A., ROTONDO V.H. Y M.G. VINOCUR 1995 **Agroclimatología de Río Cuarto – 1974/1993**. Vol I. FAV. UNRC. Río Cuarto. Córdoba. Argentina. 68 pp.

VIDAL, C 2001 Producción de maíz bajo riego en dos sistemas de labranzas en la EEA INTA Reconquista. INTA EEA Reconquista, Sta. Fé. Información para extensión n° 70 **Ediciones INTA**. Pág 3-12.

WEILENMANN DE TAU M. E., SUAREZ W., FERREIRO M. Y M. PIERSANTI 2002
Evaluación de híbridos de maíz. Ensayos comparativos de rendimiento. Estación Experimental
Balcarce. INTA Balcarce. Buenos Aires.

ANEXO

Tabla 1: Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	50	0,72	0,14	7,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	28659309,20	33	868463,92	1,24	0,3339
Trat.riego	13381852,00	4	3345463,00	4,76	0,0101
Fert.	638450,00	1	638450,00	0,91	0,3548
Bloque	2554796,00	4	638699,00	0,91	0,4824
Trat.riego*Fert.	2422492,00	4	605623,00	0,86	0,5078
Error	11247668,80	16	702979,30		
Total	39906978,00	49			

Test de Tukey:

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	50	0,34	0,28	6,63

Tabla 2: Trat. De riego. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13381852,00	4	3345463,00	5,68	0,0009
Trat.riego	13381852,00	4	3345463,00	5,68	0,0009
Error	26525126,00	45	589447,24		
Total	39906978,00	49			

Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=976,96823

Error: 589447,2444 gl: 45

Trat.riego	Medias	n		
3	10829,60	10	A	
4	11408,20	10	A	B
2	11411,40	10	A	B
5	11879,80	10		B
1	12372,00	10		B

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	50	0,02	0,00	7,81

Tabla 3: Trat. Fert. Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	638450,00	1	638450,00	0,78	0,3814
Fert.	638450,00	1	638450,00	0,78	0,3814
Error	39268528,00	48	818094,33		
Total	39906978,00	49			

Test: Tukey Alfa:=0,05 DMS:=514,83325

Error: 818094,3333 gl: 48

Fert.	Medias	n	
FII	11467,20	25	A
FI	11693,20	25	A

Letras distintas indican diferencias significativas (p<= 0,05)

Tabla 4: Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
<u>Num.grano/m2</u>	50	0,15	0,05	8,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	957596,64	5	191519,33	1,50	0,2094
Trat.riego	952872,72	4	238218,18	1,87	0,1335
Fert.	4723,92	1	4723,92	0,04	0,8484
Error	5618490,88	44	127692,97		
Total	6576087,52	49			

No se Rechaza**Tabla 5: Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
<u>gran/hil</u>	50	0,13	0,03	7,23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36,44	5	7,29	1,33	0,2693
Trat.riego	24,92	4	6,23	1,14	0,3516
Fert.	11,52	1	11,52	2,10	0,1541
Error	241,08	44	5,48		
Total	277,52	49			

No se Rechaza**Tabla 6: Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
<u>grano/espiga</u>	50	0,09	0,00	8,59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7661,18	5	1532,24	0,86	0,5179
Trat.riego	6148,68	4	1537,17	0,86	0,4960
Fert.	1512,50	1	1512,50	0,85	0,3629
Error	78741,00	44	1789,57		
Total	86402,18	49			

No se Rechaza**Tabla 7: Análisis de la varianza**

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
<u>Peso 1000 granos</u>	50	0,15	0,05	7,09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4732,30	5	946,46	1,51	0,2059
Trat.riego	4449,08	4	1112,27	1,78	0,1508
Fert.	283,22	1	283,22	0,45	0,5048
Error	27560,68	44	626,38		
Total	32292,98	49			

No se Rechaza

Tabla 8: Balance de agua semanal T0

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	P-Esc	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	50,29	25		0		1	0,5	23,14		1,86
2	48,05	25	0,00	20		1	0,5	22,10	0,13	4,09
3	33,15	25	4,09	61,9		1	0,5	15,24	42,57	0,00
4	44,77	25	0,00	22,5		1	0,5	21,83	0,67	0,00
5	41,21	25	0,00	53	25	1	0,6	21,29	56,71	0,00
6	40,83	25	0,00	1		1	0,7	25,83		24,83
7	34,11	25	24,83	66,9		1	0,8	25,60	16,47	0,00
8	25,23	25	0,00	89,1		1	0,9	22,24	66,86	0,00
9	35,73	25	0,00	32,6		1	1,1	34,79		2,19
10	34,95	25	2,19	4	25	1	1,1	38,00		11,19
11	31,37	25	11,19	43,7		1	1,1	34,51		2,00
12	34,93	25	2,00	7	25	1	1,1	27,43	2,57	0,00
13	28,11	25	0,00	0	25	1	1,1	30,94		5,94
14	22,1	25	5,94	32,6		1	1,1	24,30	2,36	0,00
15	24,63	25	0,00	7	25	1	1,1	27,09	4,91	0,00
16	20,75	25	0,00	36,7		1	1	21,79	14,91	0,00
17	15,6	25	0,00	54,6		1	0,9	14,66	39,94	0,00
18	20,2	25	0,00	7		1	0,8	17,30		10,30
19	13,63	25	10,30	0		1	0,7	10,25		20,55
20	11,1	25	20,55	0		1	0,6	7,61		28,16
				539,6	125			465,94	248,1	

Tabla 9: Balance de agua semanal T1

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	P-Esc	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	50,29	25		0		1	0,5	23,14		1,86
2	48,05	25	0,00	20		1	0,5	22,10		3,96
3	33,15	25	3,96	61,9		1	0,5	15,24	42,7	0,00
4	44,77	25	0,00	22,5		1	0,5	21,83	0,67	0,00
5	41,21	25	0,00	53		1	0,6	24,45	28,55	0,00
6	40,83	25	0,00	1		1	0,7	29,37		28,37
7	34,11	25	28,37	66,9		1	0,8	28,57	9,96	0,00
8	25,23	25	0,00	89,1		1	0,9	24,07	65,03	0,00
9	35,73	25	0,00	32,6		1	1,1	37,86		5,26
10	34,95	25	5,26	4	25	1	1,1	38,45		14,71
11	31,37	25	14,71	43,7		1	1,1	34,51		5,52
12	24,93	25	5,52	7	25	1	1,1	27,43		0,95
13	28,11	25	0,95	0	25	1	1,1	30,94		6,89
14	22,1	25	6,89	32,6		1	1,1	24,30	1,41	0,00
15	24,63	25	0,00	7	25	1	1,1	26,44	5,56	0,00
16	20,75	25	0,00	36,7		1	1	20,36	16,34	0,00
17	15,6	25	0,00	54,6		1	0,9	13,62	40,98	0,00
18	20,2	25	0,00	7		1	0,8	15,92		8,92
19	13,63	25	8,92	0		1	0,7	9,33		18,25
20	11,1	25	18,25	0		1	0,6	6,86		25,11
				539,6	100			474,79	211,2	

Tabla 10: Balance de agua semanal T2

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	P-Esc	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	50,29	18,29		0		1	0,5	23,14		1,86
2	48,05	18,47	0,00	20		1	0,5	22,10		3,96
3	33,15	19,63	3,96	61,9		1	0,5	15,24	42,7	0,00
4	44,77	28,09	0,00	22,5		1	0,5	21,83	0,67	0,00
5	41,21	34,95	0,00	53		1	0,6	24,45	28,55	0,00
6	40,83	33,35	0,00	1		1	0,7	29,37		28,37
7	34,11	35,64	28,37	66,9		1	0,8	28,57	9,96	0,00
8	25,23	48,97	0,00	89,1		1	0,9	24,07	65,03	0,00
9	35,73	42,67	0,00	32,6		1	1,1	36,72		4,12
10	34,95	42,4	4,12	4		1	1,1	38,00		38,12
11	31,37	44,2	38,12	43,7		1	1,1	34,51		28,93
12	24,93	47,44	28,93	7	25	1	1,1	27,43		24,36
13	28,11	45,84	24,36	0	25	1	1,1	30,94		30,30
14	22,1	48,87	30,30	32,6		1	1,1	24,30		22,00
15	24,63	47,89	22,00	7		1	1,1	27,09		42,09
16	20,75	50,67	42,09	36,7		1	1	21,79		27,18
17	15,6	53,75	27,18	54,6		1	0,9	14,66	12,76	0,00
18	20,2	52,7	0,00	7		1	0,8	17,30		10,30
19	13,63	55,71	10,30	0		1	0,7	10,25		20,55
20	11,1	54,49	20,55	0		1	0,6	7,61		28,16
				539,6	50			479,37	159,67	

Tabla 11: Balance de agua semanal T3

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	P-Esc	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	50,29	18,29		0		1	0,5	23,14		1,86
2	48,05	18,47	0,00	20		1	0,5	22,10		3,96
3	33,15	19,63	3,96	61,9		1	0,5	15,24	42,7	0,00
4	44,77	28,09	0,00	22,5		1	0,5	21,83	0,67	0,00
5	41,21	36,01	0,00	53		0,6	0,6	21,23	31,77	0,00
6	40,83	33,35	0,00	1		1	0,7	29,37		28,37
7	34,11	33,61	28,37	66,9		1	0,8	28,57	9,96	0,00
8	25,23	35,07	0,00	89,1		1	0,9	24,07	65,03	0,00
9	35,73	30,56	0,00	32,6		1	1,1	37,86		5,26
10	34,95	30,37	5,26	4		1	1,1	38,45		39,71
11	31,37	31,66	39,71	43,7		1	1,1	34,51		30,52
12	34,93	33,98	30,52	7	25	1	1,1	27,43		25,95
13	28,11	35,26	25,95	0	25	0,6	1,1	23,52		24,47
14	22,1	35	24,47	32,6		1	1,1	24,30		16,17
15	24,63	34,3	16,17	7		1	1,1	26,44		35,61
16	20,75	36,29	35,61	36,7		1	1	20,36		19,27
17	15,6	38,5	19,27	54,6		1	0,9	13,62	21,71	0,00
18	20,2	37,74	0,00	7		1	0,8	15,92		8,92
19	13,63	39,9	8,92	0		1	0,7	9,33		18,25
20	11,1	39,02	18,25	0		1	0,6	6,86		25,11
				539,6	50			464,15	171,8	

Tabla 12: Balance de agua semanal T4

Sem	Eto	RAW	Dri inicio	P-Esc	R	Ks	Kc	Etc	Pp	Dri final
1	50,29	18,29		0		1	0,5	23,14		1,86
2	48,05	18,47	0,00	20		1	0,5	22,10		3,96
3	33,15	19,63	3,96	61,9		1	0,5	15,24	42,7	0,00
4	44,77	28,09	0,00	22,5		1	0,5	21,83	0,67	0,00
5	41,21	36,01	0,00	53		0,6	0,6	19,78	33,22	0,00
6	40,83	33,35	0,00	1		1	0,7	17,63		16,63
7	34,11	33,61	16,63	66,9		1	0,8	28,57	21,7	0,00
8	25,23	35,07	0,00	89,1		1	0,9	24,07	65,03	0,00
9	35,73	30,56	0,00	32,6		1	1,1	37,86		5,26
10	34,95	32,72	5,26	4		0,6	1,1	38,45		39,71
11	31,37	33,81	39,71	43,7		0,6	1,1	34,51		30,52
12	24,93	35,42	30,52	7	25	0,6	1,1	27,43		25,95
13	28,11	36,88	25,95	0		0,6	1,1	18,55		44,50
14	22,1	37,57	44,50	32,6		0,6	1,1	16,45		28,35
15	24,63	34,3	28,35	7		1	1,1	26,44		47,79
16	20,75	36,29	47,79	36,7		1	1	20,36		31,45
17	15,6	38,5	31,45	54,6		1	0,9	13,62	9,53	0,00
18	20,2	37,74	0,00	7		1	0,8	15,92		8,92
19	13,63	39,9	8,92	0		1	0,7	9,33		18,25
20	11,1	39,02	18,25	0		1	0,6	6,86		25,11
				539,6	25			438,14	172,9	